

Title	Emergence of Space-Times from Gauge Theories in Gauge/Gravity Duality( Abstract_要旨 )
Author(s)	Asano, Yuhma
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2015-03-23
URL	<a href="http://dx.doi.org/10.14989/doctor.k18786">http://dx.doi.org/10.14989/doctor.k18786</a>
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

( 続紙 1 )

京都大学	博 士 ( 理 学 )	氏名	浅野 侑磨
論文題目	Emergence of Space-Times from Gauge Theories in Gauge/Gravity Duality		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>ゲージ理論から時空が創発されることを示す問題は超弦理論の非摂動的定式化において重要な問題であり、様々なゲージ理論における時空の創発が様々な視点で議論されてきた。本論文では、ゲージ/重力双対の文脈で時空の創発を議論している。ゲージ/重力双対はある種の large-<math>N</math> ゲージ理論と古典重力理論が双対関係にあるという予想であるが、それによると <math>1/N</math> が弦の結合定数に対応しているため、finite-<math>N</math> でのこの双対性が超弦理論の非摂動的定式化になっているはずだという考え方がある。本論文は、<math>SU(2 4)</math> 対称なゲージ/重力双対についての申請者の研究成果に基づいている。</p> <p><math>SU(2 4)</math> 対称なゲージ理論には 1 次元の量子力学である BMN 行列模型 (Berenstein-Maldacena-Nastase) がある。その他にも 3 次元の <math>N=8</math> 超対称 Yang-Mills 理論、4 次元の <math>N=4</math> 超対称 Yang-Mills 理論があるが、それら高次元のゲージ理論は BMN 行列模型の特別な真空周りの理論として実現できることが示されている。そのため、本論文では主に BMN 行列模型について計算しており、その結果から 3 次元および 4 次元のゲージ理論についての結果も導き出している。</p> <p>これらのゲージ理論に対応する重力解は <math>SU(2 4)</math> 対称性を持つ IIA 超重力の <math>1/2</math> BPS 解である。この解には D2 ブレーンと NS5 ブレーンのチャージが存在しており、その配置の仕方によって異なる無数の離散的な解が構成される。また、解はただひとつの関数のみで書かれ、それは Laplace 方程式を満たしている。計量が満たすべき条件も考慮すると、重力解を求める問題は、ある背景場中の平行に並んだ導体円盤からなる軸対称な系における静電問題と等価な問題に帰着する。静電問題の見方では、D2 ブレーンと NS5 ブレーンの配置は導体円盤の電荷と位置で決定される。</p> <p>以上のゲージ理論と重力の間の対応が正しく成り立つのであれば、ゲージ理論の各真空周りの BPS セクターから対応する重力解が実現され、静電問題の系に等価になっているはずである。実際、<math>SU(2 4)</math> 対称なゲージ理論はいずれも無数の離散的な真空を有し、それぞれが重力解と対応していることが指摘されていたが、ゲージ理論からの具体的な重力解の構成はなされていなかった。ゲージ理論側から重力の古典解を議論するためには強結合極限での振る舞いを得る必要があり、一般に非常に難しい問題である。本論文では localization の手法の結果を用いることでその困難を克服した。ゲージ理論の BPS セクターにおける期待値は localization の手法により比較的簡単に得られ、行列積分で書かれる。その鞍点方程式は固有値分布についての Fredholm 型の積分方程式となる。この方程式はまさに軸対称な静電問題で得られた方程式と同じ形をしており、重力解を決定する方程式と等価であることが BMN 行列模型の全ての真空において示された。従って高次元の <math>SU(2 4)</math> 対称なゲージ理論の真空においても示されたことになる。また、固有値分布の台は対応する重力解における NS5 ブレーンの半径に対応しているため、ゲージ理論側から重力解の典型的なスケールも導き出したことになっている。これは行列の固有値分布が実際に重力解を構成していることを強く示唆しており、このゲージ/重力双対の新たな証拠と言える。</p>			

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、ゲージ理論に埋め込まれていると考えられる幾何をゲージ理論側から具体的に同定した。このことは全ての真空について確認しており、簡単な極限での詳細な振る舞いも調べているため、正しく同定されていると考えられる。ゲージ理論からの幾何の創発は長年困難とされてきた課題であり、行列模型などのゲージ理論による超弦理論の非摂動的定式化において非常に重要な問題である。本論文の結果は重力の古典的もしくは量子的な摂動を説明するまでは至っていないものの、非摂動的定式化を議論する上での土台となる重要な帰結である。

また、本論文はゲージ/重力双対についての新たな証拠を提示している。ゲージ/重力双対は多くの証拠があがっているものの、その完全な証明は困難を極め、いまだ証明されていない。従ってできるだけ多くの証拠を集めることで、証明へ繋がる手掛かりを掴むことが期待される。ゲージ理論における固有値密度と、重力解を決定する関数との間の対応関係は新しい知見であり、 $SU(2|4)$  対称なゲージ/重力双対の正当性はより強まったと言える。本論文で用いた手法を用いれば、他のゲージ/重力双対の新たな証拠を得ることができると思われ、一般のゲージ/重力双対の検証に大きな役割を果たすことが期待できる。

さらに、幾何の創発が large-N reduction と関係づけられた点も重要である。large-N reduction は行列模型から時空間の次元を創発する機構であり、超弦理論の非摂動的定式化の観点からもその重要性が指摘されている。本論文では BMN 行列模型あるいは 3 次元の超対称 Yang-Mills 理論の特別な真空周りの理論と 4 次元の超対称 Yang-Mills 理論の間の等価性を示す際に large-N reduction が用いられた。この時創発された次元の方向は、静電問題の見方では導体円盤が並ぶ方向、つまり重力側での非自明な方向のひとつに対応することが分かる。従って、この方向の時空の創発は、large-N reduction による説明も可能であるため、実現される幾何が仮想的なものではなく実際に空間として実現されていることを示唆している。

以上のように、申請者は  $SU(2|4)$  対称なゲージ理論から創発される幾何を同定し、その対応の辞書を具体的に示した。その結果は、行列の固有値分布の鞍点方程式が幾何を決定する方程式で、固有値分布の台が幾何の典型的なスケールと同定するものであり、予想されていた自然な結果である。さらに、幾何のある一方向が創発されるのに対応して、large-N reduction で 4 次元の超対称 Yang-Mills 理論が実現されることを指摘しており、ゲージ/重力双対における時空の創発の理解に寄与している。また、ゲージ理論から幾何の創発を得る手法を提示しているため、今後本論文の手法を用いて他のゲージ/重力双対における時空の創発が示されることが期待され、ゲージ/重力双対の検証に多くの示唆を与えられと考えられる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 1 月 13 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：                      年              月              日以降